



Електричні станції й підстанції

Методичні вказівки для виконання курсових робіт
для здобувачів початкового рівня (короткий цикл) вищої освіти
освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
галузь знань 14 Електрична інженерія
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
денної форми навчання

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВН	—висока напруга
ЕЕС	—електроенергетична система
ЕО	—електрообладнання
ЕП	—електроприймач
КЗ	—коротке замикання (електроустановки, трансформатора,...)
ККУ	— комплектна конденсаторна установка
КРП	—комплектний розподільний пристрій
КТП	—комплектна трансформаторна підстанція
НН	—низька напруга
ПУЕ	—правила улаштування електроустановок
РП	—розподільний пункт 6, 10кВ або 0,4 кВ
СЕП	—система електропостачання
СРШ	—силова розподільна шафа
ТП	—трансформаторна підстанція
ХХ	—холостий хід (трансформатора)
ЦЕН	—центр електричних навантажень
ЦРП	—центральний розподільний пункт
ЦТП	—цехова трансформаторна підстанція
ШМ	—шинопровід магістральний
ШР	—шинопровід розподільний

ПЕРЕДМОВА

Проектування систем електропостачання промислових підприємств є складною і відповідальною задачею. Прийняття проектних рішень безпосередньо впливає на об'єм і трудомісткість монтажних робіт, зручність та безпечність експлуатації електротехнічних установок систем електропостачання.

Основною вимогою, що висувається до проектів систем електропостачання, є надійність електропостачання споживачів. Надійність електропостачання забезпечується вибором найбільш досконалих електричних апаратів, силових трансформаторів, кабельно-провідникової продукції, відповідністю електричних навантажень в нормальних і аварійних режимах номінальним навантаженням цих елементів, використанням структурного резервування.

Методичні вказівки призначені до виконання курсової роботи з дисципліни «Електропостачання в галузі» для студентів напряму підготовки 050701 “Електротехніка та електротехнології” спеціальності 5.05070103 “Електропостачання”.

Метою курсової роботи є закріплення теоретичних знань та набуття навиків самостійної роботи з нормативною, довідниковою, методичною та навчальною літературою для розробки системи електропостачання промислового підприємства. У процесі курсової роботи студент повинен навчитися розраховувати електричні навантаження на основі рівня електропостачання, вибирати кількість і потужність цехових трансформаторів та пристроїв компенсації реактивної потужності, вибирати схему і розраховувати перерізи ліній живлення зовнішнього, внутрішнього та цехового електропостачання, розраховувати струми короткого замикання, вибирати та перевіряти основне комутаційно-захисне обладнання СЕП підприємства.

При виконанні курсової роботи необхідно спроектувати систему електропостачання механічної дільниці цеху №1 промислового підприємства.

Курсова робота виконується у відповідності з індивідуальним завданням студента. Вихідні дані до виконання курсової роботи наведені у додатку А.

Пояснювальна записка є технічним документом курсової роботи і повинна оформлюватись відповідно до вимог єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД). Пояснювальна записка виконується на форматі А4 і складається з 30-35 сторінок. Текст дозволяється набирати на ПК через півтора інтервали шрифтом Times New Roman (розмір шрифту – 14пт, заголовки – 16пт).

Структура пояснювальної записки курсової роботи складається з:

- титульної сторінки (див. додаток К1);
- завдання (вихідні дані, див. додаток К2);
- реферату (див. додаток К3);
- переліку скорочень (див. додаток К4);
- змісту;
- вступу;
- основних розділів

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.

1.1. Розрахунок силових навантажень.

1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.

1.3. Розрахунок сумарних навантажень.

1.4. Розрахунок картограми навантажень і визначення теоретичного центру навантажень.

2. ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ЦЕХОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ І КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.

3. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ СЕП.

3.1. Розрахунок і вибір перерізу мережі зовнішнього електропостачання.

3.2. Розрахунок і вибір перерізу мережі внутрішнього електропостачання.

4. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.

4.1. Розрахунок струмів трифазного короткого замикання.

4.2. Перевірка вибраного перерізу КЛ за умовою термічної стійкості.

5. ВИБІР І ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ.

5.1. Вибір і перевірка електричних апаратів напругою більше 1кВ.

5.2. Вибір і перевірка електричних апаратів напругою до 1кВ.

- переліку посилань (літератури);

- додатків.

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Електричним навантаженням називають потужність, що споживається електроустановкою в певний момент часу. Електричні навантаження характеризують споживання електричної енергії окремими споживачами, групою споживачів в цеху, групою цехів і підприємством в цілому. При змінному струмі розрізняють активне, реактивне та повне навантаження. Поняття навантаження поширюється також на електричний струм.

Розрахункове навантаження обумовлює допустиме нагрівання електричних машин, апаратів і струмопровідних частин у нормальному режимі роботи. За розрахункове навантаження приймають таке умовно незмінне за часом значення навантаження, що викликає найбільш тяжке нагрівання провідника струму за максимальною температурою (піком температури) чи за тепловим зносом ізоляції, як і фактичне змінне за часом повне навантаження, яке безперервно змінюється за часом залежно від режиму роботи електроприймача у групі.

Нагрівання є результатом впливу навантаження за визначений час. Вважається, що сталий тепловий стан тіла, яке нагрівається, настає через проміжок часу, що дорівнює трьом сталим часу нагрівання ($3T_0$). Таким чином, розрахункове навантаження можна розглядати як максимальне із середніх значень навантаження на інтервалі часу $3T_0$. При цьому визначають активне (P_p), реактивне (Q_p) та повне (S_p) розрахункові навантаження.

Проводи та кабелі поширених малих і середніх значень поперечного перерізу звичайної конструкції в електричних мережах до 1 **кВ** мають сталу часу нагрівання порядку $T_0=10\text{хв}$. Тому за розрахунковий інтервал при визначенні розрахункового навантаження приймають інтервал часу 30 **хв**. Для однаковості розрахункової методики півгодинний максимум розглядається як розрахункове навантаження для вибору всіх елементів електропостачання. Якщо стала часу провідника значно перевищує 10 **хв**, то півгодинний максимум можна привести до більшої тривалості.

Величину розрахункового навантаження використовують для вибору потужності та перевірки навантажувальної спроможності силових трансформаторів, вибору потужності компенсуючих та перетворювальних установок, перерізу струмопровідних частин електроустановок за нагріванням та економічною густиною струму, для визначення втрат та відхилень напруги і витрат потужності й електроенергії в електричних мережах, розрахунку захисту.

Під час розрахунку електричних навантажень в системі електропостачання, виділяють шість характерних рівнів (рис. 1.1), які відрізняються за характером електроспоживання і, відповідно, способом розрахунку.

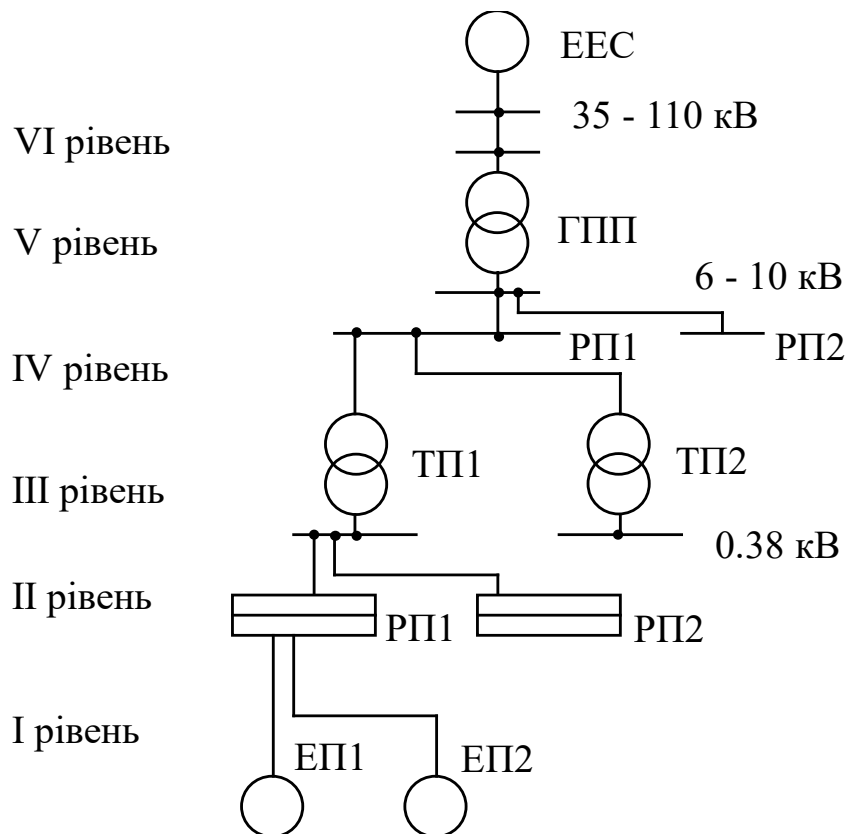


Рисунок 1.1 – Рівні електропостачання:

I – окремі електроприймачі; II – розподільні щити, пункти, шинопроводи;
 III – шини 0,38кВ ТП; IV – шини РП 10 (6)кВ; V – шини ГПП 10 (6)кВ;
 VI – лінії 110 (35)кВ.

Розрахунок електричних навантажень виконується знизу вгору у два етапи [1]: спочатку визначають навантаження цехів і підприємства в цілому, потім вибирають схеми електропостачання і визначають розрахункові навантаження для кожної конкретної лінії електропередач. Допускається спочатку скласти схему цехової мережі і на її основі виконати розрахунок електричних навантажень цехової мережі.

1.1 Розрахунок силових електричних навантажень

Обчислення розрахункового навантаження цехів та підприємства здійснюється методом коефіцієнта попиту [1-4]. Цей метод дозволяє визначити розрахункове максимальне навантаження вузла електропостачання (ділянка цеху, цех, промислове підприємство) на стадії проектного завдання, при невідомій потужності окремих електроприймачів.

Величину розрахункового активного навантаження P_p та розрахункового реактивного навантаження Q_p визначають за допомогою коефіцієнта попиту K_n і коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ для даної групи електроприймачів або галузі промисловості.

Коефіцієнтом попиту називають відношення розрахункового активного навантаження групи електроприймачів до їх встановленої потужності при тривалому режимі (за винятком потужності резервних електроприймачів

$$K_n = \frac{P_p}{\sum_{i=1}^n P_{вст.i}} \quad (1.0)$$

де $P_{вст.i}$ – встановлена активна потужність i -го електроприймача, яка при коефіцієнті тривалості вмикання $TB=100\%$ дорівнює його номінальній потужності $P_{ном.i}$; n – кількість діючих електроприймачів.

Числові значення коефіцієнта попиту встановлені проектними та науково-дослідними установами на основі статистичної обробки графіків добового навантаження конкретних споживачів і наводяться у відповідній технічній літературі та сприймаються як директивні [5].

З формули (1.0) можна одержати розрахункове силове активне навантаження для окремого цеху при напрузі 0,38/0,22 кВ:

$$P_{p.c.i} = K_{n.i} * P_{вст.i}; \quad (1.1)$$

де $K_{n.i}$ – коефіцієнт попиту i -го цеху (числові значення $K_{n.i}$ окремих цехів наведені в таблиці завдання); $P_{вст.i}$ – встановлена активна потужність i -го цеху.

Розрахункове силовe реактивне навантаження i -го цеху визначається за формулою:

$$Q_{p.c.i} = P_{p.c.i} * tg\varphi_i; \quad (1.2)$$

де $tg\varphi_i$ – відповідає значенню коефіцієнта потужності $cos\varphi_i$ i -го цеху.

Розрахункове силовe повне навантаження i -го цеху визначається як:

$$S_{p.c.i} = \sqrt{P_{p.c.i}^2 + Q_{p.c.i}^2}; \quad (1.3)$$

За формулами (1.1) – (1.3) визначаються розрахункове силовe активне, реактивне та повне навантаження кожного цеху підприємства.

Обрахунки будемо проводити на прикладі механічного цеху №1.

$$P_{p.c} = 0,19 * 5130 = 974,7 \text{ кВт},$$

де $P_{вст.} = 5130$ кВт, згідно з даними таблиці 2 завдання;

$K_n = 0,19$, згідно з даними завдання.

$$Q_{p.c} = 974,7 * 1,2 = 1170,2 \text{ кВАр},$$

де $tg\varphi = tg(\arccos(0,64)) = 1,2$.

$$S_{p.c} = \sqrt{974,7^2 + 1170,2^2} = 1523 \text{ кВА}.$$

Результати розрахунку зводимо в таблицю 1.1

Таблиця 1.1 – Визначення розрахункового силового навантаження цехів.

№ цеху	Назва цеху	$P_{\text{вст.i}}, \text{кВт}$	K_n	$\cos\varphi_i$	$\text{tg}\varphi_i$	Результати розрахунків		
						$P_{p.c}, \text{кВт}$	$Q_{p.c}, \text{кВАр}$	$S_{p.c}, \text{кВА}$
1	Механічний цех № 1	5130	0,19	0,64	1,2	974,7	1170,2	1523
2	Механічний цех № 2	5770	0,14	0,66	1,14	807,8	919,5	1223,9
3	Механічно-складальний цех	6290	0,11	0,61	1,3	691,9	898,8	1134,3
4	Інструментальний цех	6830	0,16	0,69	1,05	1092,8	1146,3	1583,8
5	Цех дрібних серій	7070	0,12	0,54	1,56	848,4	1322,3	1571,1
6	Ремонтно-механічний цех	5890	0,17	0,64	1,2	1001,3	1202,1	1564,5
Всього						5416,9	6659,3	8600,6

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

На промисловому підприємстві близько 10% споживання електричної енергії витрачається на електричне освітлення. Освітлювальні мережі живляться від цехових ТП з вторинною напругою 0,38(0,22) кВ (чотирипровідні мережі з глухозаземленою нейтралю).

Розрахунок освітлювального навантаження цеху:

$$P_{p.o.i} = P_{p.c} * P_o \quad (1.4)$$

Навантаження механічного цеху № 1

$$P_{p.o1} = 974.7 * 0,1 = 97.4 \text{ кВт}$$

Розрахунок навантаження інших цехів проводимо аналогічно.

1.3 Розрахунок сумарних навантажень

Розрахункове навантаження підприємства необхідне для вибору номінальної потужності трансформаторів ТП, визначення економічного значення реактивної потужності, яка споживається від енергосистеми, розрахунку потужності пристроїв компенсації реактивної потужності споживача.

Для визначення розрахункового навантаження підприємства необхідно обчислити загальне розрахункове навантаження цехів. При розрахунку загального розрахункового навантаження цеху з врахуванням розрахункового навантаження загального електричного освітлення, приймається коефіцієнт одночасності збігання максимумів навантаження $K_0 = 1$.

Загальне розрахункове активне навантаження i -го цеху визначається за формулою:

$$P_{p.ц.i} = P_{p.c.i} + P_{p.o.i} \quad (1.5)$$

Загальне розрахункове реактивне навантаження i -го цеху визначається за формулою:

$$Q_{p.ц.i} = Q_{p.c.i} + Q_{p.o.i} \quad (1.6)$$

Таким чином, загальне розрахункове повне навантаження i -го цеху:

$$S_{p.ц.i} = \sqrt{P_{p.ц.i}^2 + Q_{p.ц.i}^2} \quad (1.7)$$

За формулами (1.5); (1.6); (1.7) здійснюємо розрахунок сумарних активних, реактивних і повних навантажень. Обчислення здійснюємо на прикладі механічного цеху №1:

$$P_{p.ц} = 974,7 + 97,4 = 1072,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.ц} = 1170,2 + 0 = 1170,2 \text{ кВАр},$$

$$S_{p.ц.i} = \sqrt{1072,1^2 + 1170,2^2} = 1552,1 \text{ кВА}.$$

Результати розрахунку для інших цехів наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Розрахунок сумарного навантаження

Найменування вузлів живлення	Силове навантаження		Освітлювальне навантаження		Сумарне навантаження		
	$P_{p.c.i}$, кВт	$Q_{p.c.i}$ кВАр	$P_{p.o.i}$ кВт	$Q_{p.o.i}$, кВАр	$P_{p.ц}$, кВт	$Q_{p.ц}$ кВАр	$S_{p.ц.i}$, кВА
Механічний цех №1	974,7	1170,2	97,4	0	1072,1	1170,2	1552.1
Механічний цех № 2	807,8	919,5	26,5	0	834,3	965.4	1275.9
Механічно- складальний цех	691,9	898,8	28,5	0	720,4	898.8	1151.8
Інструментальний цех	1092,8	1146,3	27,7	0	1120,5	1155.5	1609.5
Цех дрібних серій	848,4	1322,3	35,2	0	883,6	1383.3	1641.5
Ремонтно- механічний цех	1001,3	1202,1	29,3	0	1030,6	1202.1	1583.5
Всього					5596,6	6786	8814,3

Загальне розрахункове активне та реактивне навантаження кількох груп або цехів усього підприємства визначають з урахуванням коефіцієнта одночасності збігання максимумів навантаження цих груп або цехів:

$$P_p = K_0 * \sum_{i=1}^m P_{p.ц.i} \quad (1.8)$$

$$Q_p = K_0 * \sum_{i=1}^m Q_{p.ц.i} \quad (1.9)$$

де m – кількість розрахункових груп (цехів) підприємства.

Коефіцієнт одночасності збігання максимумів навантаження приймають в інтервалі $K_0 = 0,85 - 0,95$.

$$P_p = 0,89 * 5596,6 = 6039,538 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 0,89 * 6786 = 7844,741 \text{ кВАр}$$

Розрахункову повну потужність визначають за формулою:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.10)$$

$$S_p = \sqrt{6039,538^2 + 7844,741^2} = 9900,302 \text{ кВА}$$

1.4 Розрахунок картограми навантажень і визначення центру електричних навантажень

Для наочності визначення ЦЕН на генеральний план підприємства наноситься картограма навантажень. При цьому для кожного цеху креслиться коло, центр якого збігається із ЦЕН цеху. Навантаження кожного з цехів зображають колом площа якого пропорційна розрахунковій активній потужності. Вважається, що навантаження розподілені рівномірно по всій території підприємства. ЦЕН цеху буде збігатися з його геометричним центром.

Радіус кола, який характеризує величину навантаження визначається:

$$r = \sqrt{\frac{P_{p.ц}}{\pi * m}} \quad (1.11)$$

де $P_{p.ц}$ – повне розрахункове активне навантаження об'єкта, кВт;

m – мірило, кВт/см² (прийнятий масштаб для визначення площі кола).

Для відображення характеристики навантаження підприємства в кожному колі виділимо сектор який відповідає освітлювальному навантаженню:

$$\alpha = \frac{360 * P_{p.o.ц}}{P_{p.ц}} \quad (1.12)$$

де α – величина сектора в градусах $\alpha \geq 3^0$.

За формулами 1.11 та 1.12 здійснимо розрахунок координат та радіусів кіл картограми окремих цехів, приклад розрахунку проводимо для цеху №1:

$$r = \sqrt{\frac{1007,2}{3,14 * 0,55}} = 24,14 \text{ мм},$$

$$\alpha = \frac{360 * 32,5}{1007,2} = 11,6^0.$$

Результати розрахунків для інших цехів підприємства наводимо в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Координати та радіуси кіл картограм окремих цехів

Назва цеху	$P_{p.ц.i},$ кВт	$P_{p.од},$ кВт	Координати		Результати розрахунку	
			x	y	$r,$ мм	$\alpha,$ град
1 Механічний цех №1	1007,2	32,5	137,5	160	24,144	11,618
2 Механічний цех № 2	834,3	26,5	137,5	184,4	21,974	11,428
3 Механічно-складальний цех	720,4	28,5	137,5	89	20,418	14,22
4 Інструментальний цех	1120,5	27,7	137,5	108,5	25,465	8,9
5 Цех дрібних серій	883,6	35,2	44	62	22,614	14,346
6 Ремонтно-механічний цех	1030,6	29,3	137,5	43	24,423	10,25
Всього	5596,6	179,7				

Координати центру електричних навантажень визначаємо в умовній системі координат, яка наноситься на план підприємства довільним чином з умовними одиницями виміру. Зазвичай умовну систему координат суміщають з нижнім лівим кутом площі підприємства.

Координати центру електричних навантажень підприємства обчислюємо за формулами:

$$X_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{p.ц.i} * x_i)}{\sum_{i=1}^n P_{p.ц.i}} \quad (1.14)$$

$$Y_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{p.ц.i} * y_i)}{\sum_{i=1}^n P_{p.ц.i}} \quad (1.15)$$

де n – кількість цехів підприємства.

За формулами (1.13) та (1.14) визначаємо теоретичний ЦЕН підприємства.

$$X_{ц} = \frac{1007,2 * 137,5 + 834,28 * 137,5 + \dots + 1030,64 * 137,5}{1007,2 + 834,28 + \dots + 1030,64} = 122,74 \text{ см}$$

$$Y_{ц} = \frac{1007,2 * 160 + 834,28 * 184,4 + \dots + 1030,64 * 43}{1007,2 + 834,28 + \dots + 1030,64} = 107,17 \text{ см}$$

Наносимо теоретичний ЦЕН підприємства, який має координати $X_{ц} = 122,74$ см; $Y_{ц} = 107,17$ см, на генеральний план підприємства. Якщо, територіальна забудова не дозволяє розмістити ТП в центрі електричних навантажень, то зміщуємо його в сторону джерела живлення.

2. ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦТП І КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

Цехова трансформаторна підстанція (далі ЦТП) – це підстанція з первинною напругою 6(10) кВ яка перетворює електричну енергію на напругу до 1 кВ і безпосередньо живить споживачів одного чи кількох цехів або частину великого цеху.

При виборі кількості та потужності трансформаторів цехових підстанцій враховують такі фактори:

- категорія надійності електропостачання електроприймачів;
- розрахункове навантаження на третьому рівні електропостачання;
- компенсацію реактивних навантажень на напрузі до 1 кВ;
- навантажувальну спроможність трансформаторів в нормальному та після аварійному режимах;
- шкалу стандартних номінальних потужностей трансформаторів.

Кількість цехових ТП впливає на витрати на розподільчі пристрої напругою 6(10) кВ, на внутрішньозаводські та цехові електричні мережі. При зменшенні кількості ТП, що відповідає збільшенню одиничної номінальної потужності їх трансформаторів, зменшується кількість комірок розподільного пристрою, сумарна довжина лінії і втрати електроенергії та напруги в електричних мережах 6(10) кВ, але зростає довжина електричних мереж до 1 кВ, що призводить до збільшення вартості цих мереж і втрати електричної енергії та напруги в них. При збільшенні кількості ТП, навпаки, зменшуються витрати на цехові мережі, але збільшується кількість комірок РП 6(10) кВ і витрати на мережі напругою 6(10) кВ. Тому оптимальний варіант визначається шляхом техніко-економічних розрахунків (ТЕР) при забезпеченні заданої надійності електропостачання.

Однотрансформаторні цехові підстанції застосовуються при наявності електроприймачів третьої категорії надійності, що допускають перерву електропостачання на час доставки трансформаторів зі складського резерву. У випадку, коли переважають електроприймачі третьої категорії, але є

електричні приймачі другої категорії, здійснюється взаємне резервування на боці низької напруги між сусідніми ТП, які одержують живлення від різних секцій джерела живлення або різних ДЖ. При резервуванні кабельною перемичкою передбачається резерв в обсязі 15-30% номінальної потужності трансформатора $S_{ном}$ та 35-40% $S_{ном}$ при резервуванні шинною перемичкою між кінцями двох магістралей низької напруги у разі схеми блока трансформатор-магістраль (БТМ).

Двотрансформаторні цехові підстанції застосовуються при більшості електроприймачів першої категорії та наявності електроприймачів особливої групи, для цехів з великою питомою густиною навантаження (більше ніж 0,5 кВА м²) для зосереджених навантажень, для окремо розташованих об'єктів загальнозаводського призначення, а також при нерівномірних добових графіках навантаження. Для цих підстанцій також необхідний складський резерв у випадку пошкодження одного трансформатора. На час заміни пошкодженого трансформатора той, що залишився в роботі, має забезпечити електропостачання всіх електроприймачів першої категорії надійності.

Цехові підстанції з кількістю трансформаторів більше двох застосовують лише при належному обґрунтуванні, а також при встановленні окремих трансформаторів для живлення силових та освітлювальних навантажень.

Завантаженість цехових ТП залежить від категорії надійності електропостачання, кількості трансформаторів та способу резервування. Для трансформаторів цехових ТП рекомендується приймати наступні коефіцієнт завантаження [4]:

- за перевагою електричних приймачів першої категорії надійності для двотрансформаторних підстанцій коефіцієнт завантаження буде рівний $K_3 = 0,65-0,7$;

- за перевагою електричних приймачів другої категорії надійності для однострансформаторних підстанцій із взаємним резервуванням

трансформаторів на боці низької напруги коефіцієнт завантаження буде рівний $K_3 = 0,7-0,8$;

-за перевагою електричних приймачів другої категорії надійності для однотрансформаторних підстанцій у разі наявності складського резервування, а також електричних приймачів третьої категорії надійності коефіцієнт завантаження буде рівний $K_3 = 0,9-0,95$.

У наш час для живлення електроприймачів 2-ї категорії надійності, а також електроприймачів 2-ї та 3-ї категорій надійності застосовують двотрансформаторні підстанції.

Якщо приймати коефіцієнт завантаження трансформаторів

$K_3 = 0,7$, то в цьому випадку з врахуванням допустимого перевантаження трансформаторів вимикають частину електроприймачів 3-ї категорії надійності.

Потужність трансформатора вибирають за питомою густиною навантаження σ , яку визначають за наступною формулою:

$$\sigma = \frac{S_p}{F} \quad (2.1)$$

де S_p – повна розрахункова потужність, кВА;

F – площа цехів, м².

При густині питомого навантаження цеху до 0,2 кВА/м² доцільно використовувати трансформатори потужністю до 1000 кВА включно. При густині навантаження напругою 0,2-0,3 кВА/м² та вище трансформатори потужністю 1600-2500 кВА.

Для кожної групи цехових трансформаторів однакової потужності їх кількість, мінімально необхідна, для живлення найбільшого розрахункового активного навантаження визначається за формулою:

$$N_{min} = \frac{P_p}{K_3 * S_T} + \Delta N, \quad (2.2)$$

де P_p - середнє сумарне розрахункове активне навантаження групи за найбільш завантажену зміну;

K_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора [1,ст. 103];

S_T – номінальна потужність трансформатора;

ΔN – додаток до найближчого цілого числа.

Площу цехів знаходимо згідно даних генерального плану, розрахунок запишемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 Розрахунок площі цехів підприємства:

Назва цеху	Довжина цеху а, м	Ширина цеху в, м	Площа цеху F, м ²	Питома густина навантаження σ , кВА/м ²
Механічний цех №1	74,7	170,2	12713,94	0,12
Механічний цех №2	101,3	122,1	12368,73	0,14
Механічно- складальний цех	87,8	99,5	8736,1	0,13
Інструментальний цех	61,9	88,8	5496,72	0,12
Цех дрібних серій	102,8	116,3	11955,64	0,11
Ремонтно- механічний цех	88,4	122,3	10811,32	0,13
Всього			49368,51	1,07

Оскільки $\sigma = 1,07$ попередньо приймаємо до встановлення два трансформатори потужністю 6300 кВА.

Мінімально необхідна кількість ТФ:

$$N_{min} = \frac{6039}{0,8 * 6300} + 0,71 = 2$$

Номінальну потужність цехових трансформаторів визначаємо за формулою:

$$S_{H.T} \geq \frac{S_p}{N \cdot K_3} \quad (2.3)$$

де N – кількість трансформаторів ТП, S_p - сумарна потужність всіх цехів.

$$S_{H.T} = \frac{9900}{2 \cdot 0,8} = 6187 \text{кВА}.$$

Остаточно приймаємо до встановлення два трансформатори потужністю 6300 кВА.

За вибраною кількістю трансформаторів визначаємо найбільшу реактивну потужність яку доцільно передати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

$$Q_{max_T} = \sqrt{(N * K_3 * S_T)^2 - P_p^2} \quad (2.3)$$

$$Q_{max_T} = \sqrt{(2 * 0.8 * 6300)^2 - 6039^2} = 8070 \text{кВар}.$$

Потужність конденсаторних батарей на напругу до 1 кВ визначається за формулою:

$$Q_{\text{нк1}} = Q_p - Q_{\text{maxT}} \quad (2.4)$$

$$Q_{\text{нк1}} = 7844 - 8070 = -226 \text{кВАр}$$

де Q_p – сумарне розрахункове реактивне навантаження за найбільш завантажену зміну.

Якщо $Q_{\text{нк1}} < 0$, то установка НБК не потрібна.

Додаткова потужність НБК для зменшення втрат в трансформаторі визначається за формулою:

$$Q_{\text{нк2}} = Q_p - Q_{\text{нк1ф}} - \gamma * N_{\text{опт}} * S_T \quad (2.5)$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, який залежить від розрахункових параметрів K_{p1} і K_{p2} та схеми живлення цехових трансформаторних підстанцій).

Якщо $Q_{\text{нк2}} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність $Q_{\text{нк2}} = 0$.

Сумарна розрахункова потужність НБК $Q_{\text{нк}}$ буде дорівнювати:

$$Q_{\text{нк}} = Q_{\text{нк1}} + Q_{\text{нк2}} \quad (2.6)$$

3. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ

3.1 Розрахунок і вибір перерізу мережі зовнішнього електропостачання

Система зовнішнього електропостачання включає в себе схему електропостачання та джерела живлення підприємства. Основними умовами проектування раціональної системи зовнішнього електропостачання є надійність, економічність та якість електричної енергії в мережі.

Підстанція живиться від ЦРП 10кВ кабельною лінією.

Вибір перерізу провідників передбачає:

1. Вибір перерізу за нормальним режимом навантаження.
2. Перевірку вибраного перерізу за максимальним режимом навантаження.

3. Перевірку вибраного режиму на стійкість при аварійному режимі.

Вибір перерізу кабельних ліній здійснюємо за технічними і економічними умовами. До технічних умов відносять вибір перерізу за нагріванням розрахункового струму механічної міцності, нагріву від короткочасного вивільнення тепла струмом КЗ, втрати напруги в нормальному та після аварійному режимах.

Економічні умови вибору зводяться до визначення перерізу жил кабелів, приведені затрати на прокладання яких є мінімальними.

Вибір січень кабельних ліній напругою 10 кВ виконуємо за економічною густиною струму:

$$F_e = \frac{I_p}{j_e}, \quad (3.1)$$

$$F_e = \frac{285,54}{1,4} = 204 \text{ мм}^2,$$

де $j_e = 1,4$ - економічна густина струму для кабелів; I_p - розрахунковий струм кабеля:

$$I_p = \frac{S_p}{n * \sqrt{3} * U_H} \quad (3.2)$$

$$I_p = \frac{9900}{2 * \sqrt{3} * 10} = 285,54 \text{ A},$$

де n – кількість живлячих ліній; S_p – загальне розрахункове навантаження підприємства $S_p = 9900$ кВА.

Приймаємо до встановлення два кабеля марки ААШвУ (3×240) з алюмінієвими жилами, алюмінієвою оболонкою з зовнішнім полівінілхлоридним шлангом та паперовою ізоляцією.

Перевіряємо вибраний переріз:

- за умовою нагріву $I_{ном.}$ нормального режиму:

$$I_d = K_1 * K_2 * I_{д.т.} \geq I_p \quad (3.3)$$

$$I_d = 1,06 * 0,9 * 305 = 290,97 \geq I_p = 285,54 \text{ A}.$$

де K_1 - коефіцієнт, що враховує середньорічну температуру навколишнього середовища. $K_1=1,06$ - для кабелів 10 кВ, прокладених в землі; K_2 - поправковий коефіцієнт на кількість прокладених в одній траншеї кабелів; $K_2=0,9$, $I_{д.т.}$ - допустиме навантаження для даного січення кабеля.

-за нагрівом $I_{ном.}$ післяаварійного режиму:

$$I_{д/ав} = K_1 * K_d * I_d \geq 2I_p \quad (3.4)$$

$$I_{д/ав} = 1,06 * 1,25 * 305 = 484,95 \geq I_{н/ав} = 2 * 205,54 = 411,08 \text{ A},$$

де $K_o=1.25$ - допустиме навантаження на період ліквідації аварії.

- за втратою напруги в лінії:

$$\Delta U = \frac{P * r_0 * l + Q * x_0 * l}{10U_H^2}, \quad (3.5)$$

$$\Delta U = \frac{4544,3 * 0,15 * 2,5 + 5481,2 * 0,083 * 2,5}{10 * 10^2} = 2,84\% < 5\% ,$$

де l – довжина лінії, $l = 2,5$ км; $r_0 = 0,15$, $x_0 = 0,083$, r_0 – питомий активний і реактивний опори лінії, Ом, ([1], табл.3.5); P Q , – активна і реактивна потужності, що передаються через КЛ ; U_n – номінальна напруга, $U_n = 10$ кВ.

Отже, в результаті розрахунків видно, що вибраний кабель ААШвУ (3×240) в після аварійному режимі дозволяється перевантажувати лінію на час ліквідації аварії, а реальні втрати напруги в кабельних лініях не перевищують допустимих величин. Отже, приймаємо кабель ААШвУ (3×240) до встановлення.

3.2 Розрахунок і вибір перерізу мережі внутрішнього електропостачання.

Схему внутрішнього електропостачання розробляють з урахуванням таких факторів:

- 1) розміщення джерел живлення і споживачів;
- 2) величин їх напруг і потужностей;
- 3) необхідної надійності.

Мережа внутрішнього електропостачання проєктованого підприємства – це кабельні лінії напругою до 1кВ. Схему внутрішнього електропостачання виконуємо кабельними лініями, що прокладаються у траншеї (найчастіше кабелями, що мають захисну броню).

Основною умовою вибору перерізу провідників є величина нагрівання їх електричним струмом. Вибір перерізу кабелів при нагріванні в нормальному режимі полягає у визначенні такого мінімального перерізу, який допускає струм не менше розрахункового за умови:

$$I'_{don} \geq I_{p2} = \frac{S_{M.Ц}}{\sqrt{3}U_H}, \quad (3.6)$$

де $S_{M.Ц}$ - повне розрахункове навантаження лінії, кВА; $U_H = 0,4\text{кВ}$ – напруга живлення електроприймачів.

Допустимий тривалий струм для кабелів із врахуванням умов прокладання та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов визначається з врахуванням поправкових коефіцієнтів:

$$I'_{don} = K_{сер} K_{np} K_{nonp} I_{don}, \quad (3.7)$$

де $K_{сер}$ - поправковий коефіцієнт на температуру середовища, приймаємо $K_{сер} = 1$; K_{np} - поправковий коефіцієнт на кількість працюючих кабелів, що лежать поряд у землі, приймаємо $K_{np} = 0,92$ для двох паралельних ліній.

K_{nonp} - поправковий коефіцієнт для 4-х жильних проводів, якщо допустимі тривалі струми взяті як для 3-х жильних, приймаємо $K_{nonp} = 0,92$.

Вибір перерізу лише за умов допустимого нагрівання призводить до значних втрат активної потужності та напруги. Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести всі перевірки відповідно до вимог ПУЕ: за умов допустимої втрати напруги (3.5) та відповідності до захисного апарата (виконується після вибору захисних апаратів).

Форсований режим в електричних мережах напругою до 1кВ буває досить рідко.

Таким чином, остаточно вибирається лише той переріз кабелю, для якого виконуються усі наведені вище умови перевірки.

При виборі перерізу кабелів іноді замість одного кабелю більшого перерізу доцільно вибрати два (чи три) кабелі меншого перерізу, що полегшує умови прокладання. Крім того, допустимий струм кабелю більшого перерізу менший ніж у двох (трьох) кабелів сумарного перерізу.

Для кабелів напругою до 1кВ записується марка кабелю, кількість силових жил і їх переріз, переріз нульової жили, спосіб прокладання, довжина. Наприклад: АВВГ-(3х120+1х35) Ск, 25м, де Ск – прокладання на скобах.

Обчислення проведемо у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок перерізу жил кабельних ліній

Кабельна лінія	$S_{M.Ц} = S_{P.ц},$ кВА	$I_{p2},$ А	$I_{доп},$ А	$I'_{доп},$ А	к-сть КЛ, шт	F, мм ²
Цех №1	295,65	427,2	270	233,5	4	120
Цех №2	111,8	161,6	200	173	4	70
Цех №3	207,8	300,3	200	173	2	70

У таблиці 3.1 кількість КЛ вказана за умови забезпечення резервного живлення для електроприймачів I та II категорії надійності електропостачання (для цехів №1 і №3 дві робочі лінії і дві резервні, для цеху №2 – одна робоча і одна резервна).

Перевірку вибраних кабельних ліній на втрати напруги не проводимо, оскільки довжини КЛ незначні, а отже напруга у кінці лінії практично не буде відрізнятися від напруги на початку лінії.

4. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Однією з основних причин порушення нормального режиму роботи системи електропостачання є виникнення короткого замикання в мережі або в елементах електрообладнання внаслідок пошкодження ізоляції або неправильних дій обслуговуючого персоналу.

Для зниження збитків, обумовлених виходом з ладу електрообладнання при протіканні струмів короткого замикання, а також швидкого відновлення нормального режиму роботи системи електропостачання необхідно правильно визначити струми короткого замикання і за ними вибрати електрообладнання, захисну апаратуру і засоби обмеження струмів короткого замикання.

4.1 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання

В курсовій роботі розрахунок струмів короткого замикання доцільно проводити в іменованих одиницях.

Опір джерела живлення визначаємо за формулою:

$$Z_c = X_c = \frac{U_{c.H}}{\sqrt{3} \cdot I_{K3}^{(3)}} \quad (4.1)$$

де $U_{c.H}$ - середня напруга на шинах джерела живлення (для 10кВ приймається $U_{c.H} = 10,5$ кВ, для 6кВ - $U_{c.H} = 6,3$ кВ);

$I_{K3}^{(3)}$ - струм трифазного КЗ на шинах джерела живлення (т. KI).

Струм трифазного КЗ на шинах джерела живлення (т. KI) заданий за умовою і становить 3кА.

Опір джерела живлення визначаємо за формулою (4.1):

$$Z_c = X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3} = 2,02 \text{ Ом}$$

29

- реактивний:

$$X_{кл} = x_0 \cdot l, \quad (4.3)$$

де x_0 - питомий реактивний опір вибраного перерізу кабельної лінії, табл. Д1.

Опори кабельної лінії (за 4.2, 4.3):

- активний:

$$R_{кл} = 1,95 \cdot 0,1 = 0,195 \text{ Ом};$$

- реактивний:

$$X_{кл} = 0,113 \cdot 0,1 = 0,011 \text{ Ом}.$$

Діюче значення струму КЗ у розрахункових точках визначається за формулою:

$$I_{КЗ} = \frac{U_{с.н}}{\sqrt{3}Z_{\Sigma}}, \quad (4.4)$$

де Z_{Σ} - сумарний повний опір елементів СЕП до точки КЗ на схемі, Ом.

Діюче значення струму КЗ у т. К1 (4.4)

$$I_{К2} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,195^2 + (2,02 + 0,011)^2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,195^2 + 2,031^2}} = 2,97 \text{ кА}$$

Ударне значення струму КЗ у розрахункових точках визначається за формулою:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{K3} \cdot K_{y\partial}, \quad (4.5)$$

де $k_{y\partial}$ – ударний коефіцієнт.

$$i_{y\partial K2} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,97 = 5,87 \text{ кА}$$

Для визначення струмів КЗ низьковольтної мережі опори СЕП вищої напруги приводяться до напруги 0,4кВ:

$$X_{\Sigma 10;0,4} = X_{\Sigma 10} \cdot K_T^2 \quad (4.6)$$

$$R_{\Sigma 10;0,4} = R_{\Sigma 10} \cdot K_T^2 \quad (4.7)$$

де $K_T = \frac{U_{HH}}{U_{BH}}$ – коефіцієнт трансформації цехового силового трансформатора приведений до низької напруги.

$$X_{\Sigma 10;0,4} = 2310 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 = 3,7 \text{ мОм};$$

$$R_{\Sigma 10;0,4} = 195 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 = 0,31 \text{ мОм}.$$

Опори цехового трансформатора визначаємо за табл.Д3 і приймаємо:

$$x_T = 5,5 \text{ мОм}; \quad r_T = 17,1 \text{ мОм}.$$

Для визначення струму КЗ низьковольтної мережі (КЗ-К5) потрібно додатково до основного опору, врахувати опір перехідних контактів автоматичних вимикачів.

Враховуємо активні опори наступним чином:

- 15 мОм – на розподільних пристроях станціях і підстанціях;
- 20 мОм – на первинних цехових РП, а також на зажимах апаратів, що живляться радіальними лініями від щитів підстанцій;
- 25 мОм – на вторинних цехових РП;
- 30 мОм – для апаратури, встановленої безпосередньо у приймачів електроенергії, що живляться від вторинних РП.

Струми трифазного КЗ у т. КЗ з врахуванням додаткових опорів:

$$I_{K3} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,31+17,1+15)^2 + (3,7+5,5)^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(17,41+15)^2 + 9,2^2}} = 6,9 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial K3} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,9 = 10,7 \text{ кА},$$

Опори цехового трансформатора залежать від потужності вибраного цехового силового трансформатора і визначаються за табл. ДЗ.

4.2 Перевірка перерізу кабельної лінії за умовою термічної стійкості

Щоб остаточно визначити придатність до експлуатації вибраних перерізів КЛ необхідно провести їх перевірку на термічну стійкість, за умови:

$$F \geq F_{\min}, \quad (4.9)$$

де $F_{\min}$ - мінімально допустимий переріз кабелю за умовою термічної стійкості.

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \quad (4.10)$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{1,85 \cdot 10^6}}{94} = 14,5 \text{ мм}^2 < 16 \text{ мм}^2,$$

де B_K – тепловий імпульс струму КЗ, $\text{кА}^2\text{с}$; C – коефіцієнт, що враховує тип та матеріал провідника (табл. Е3).

Тепловий імпульс струму КЗ

$$B_K = I_K^2 (t_{\text{ОТК}} + T_a), \quad (4.11)$$

$$B_K = 0,21 \cdot 2,97^2 = 1,85 \text{ кА}^2\text{с}.$$

де $t_{\text{ОТК}} = 0,2\text{с}$ – час вимкнення лінії [1]; $T_a = 0,01\text{с}$ – постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ.

Отримане значення $F_{\min}$ округлюємо до ближнього стандартного перерізу кабелю. Якщо попередньо вибраний переріз кабелю за розрахунковим струмом (п.3.1) менший за отриманий, то потрібно збільшити його до отриманого. В іншому випадку все залишається без змін.

5. ВИБІР І ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

Струмопровідні частини (шини, кабелі) і всі види апаратів (вимикачі, роз'єднувачі, запобіжники) для електроустановок, повинні вибиратись у відповідності з обчисленими максимальними розрахунковими величинами (струмами, напругами, потужностями, відключення) для нормального режиму і режиму короткого замикання. Для правильного вибору порівнюють вказані розрахункові величини з допустимими значеннями для струмопровідних частин і високовольтного обладнання.

Вибір і перевірка всіх електричних апаратів напругою до та понад 1кВ мають відповідати таким умовам:

1) міцності ізоляції для роботи в тривалому режимі та короточасних перенапругах:

$$U_M \leq U_H, \quad (5.1)$$

де U_M - напруга електричної мережі; U_H - номінальна напруга електричного апарата (ЕА);

2) допустимого нагрівання струмами в тривалому режимі:

$$I_{розр} \leq I_{ном}, \quad (5.2)$$

де $I_{розр}$ - максимальне (форсоване) значення величини сили струму;
 $I_{ном}$ - номінальний струм ЕА;

3) комутаційній здатності ЕА при дії струмів КЗ:

$$I_{КЗ}^{(3)} \leq I_{СТ.Н}, \quad (5.3)$$

де $I_{КЗ}^{(3)}$ - розрахункова величина струму трифазного КЗ, у місці де встановлено ЕА; $I_{СТ.Н}$ - гранична комутаційна стійкість ЕА до дії струмів КЗ;

4) струму електродинамічної стійкості:

$$i_{y\partial} \leq i_{CT.дин}, \quad (5.4)$$

де $i_{y\partial}$ - розрахунковий ударний струм; $i_{CT.дин}$ - динамічна стійкість ЕА до дії струмів КЗ;

5) допустимому струму термічної стійкості ЕА I_T за допустимий час термічної стійкості t :

$$B_K \leq I_T^2 t, \quad (5.5)$$

де B_K - розрахунковий тепловий імпульс струму КЗ за (4.11); I_T, t - довідникові дані струму термічної стійкості ЕА протягом певного часу;

6) відповідності навколишньому середовищу, роду встановлення, конструктивному виконанню та ін..

Умови вибору за пунктами 1), 2) і 6) однакові для всіх ЕА і пояснень не потребують. Особливості вибору за пунктами 3), 4) і 5) для кожного електричного апарата наводяться нижче.

Для зручності проведення перевірки обладнання умови вибору проводяться у табличній формі (табл.. 5.1)

Таблиця 5.1 – Умови вибору і перевірки обладнання.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_M \leq U_H$		
$I_{розр} \leq I_{ном}$		
$I_{КЗ}^{(3)} \leq I_{CT.H}$		
$i_{y\partial} \leq i_{CT.дин}$		
$B_K \leq I_T^2 t$		

У цьому розділі проводиться вибір і перевірка комутаційно-захисної апаратури напругою до і більше 1кВ, що безпосередньо встановлюється на стороні ВН цехової ТП, на стороні НН цехової ТП, та для механічної дільниці цеху №1 розподільної мережі.

Вибір ЕА повинен проводитися для елементів електричного кола, які наведені на схемі електропостачання. Однолінійна схема електропостачання проектного підприємства наведена у додатку К5.

5.1 Вибір і перевірка комутаційно-захисної апаратури напругою більше 1кВ

Вибір ВН апаратури ЦТП проводимо на основі розрахункових даних, що наведені вище.

5.1.1 Вибір та перевірка комірок вимикачів навантаження

Комірки з вимикачами навантаження (КВН) встановлюються в РУ-10кВ цехової трансформаторної підстанції. З довідника (табл.. В5) вибираємо КВН типу КСО – 393 внутрішньої установки, яка має такі технічні дані:

- номінальна напруга – 10кВ;
- номінальний струм головних кіл - 630А;
- номінальний струм збірних шин – 630А;
- номінальний струм відключення – 20кА;
- струм електродинамічної стійкості – 41кА;
- струм термічної стійкості, за час 3с – 20кА;
- струм плавкої вставки запобіжників – 40А.

Умови вибору і перевірки комірок вимикачів навантаження наведені у таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Умови вибору і перевірки комірок вимикачів навантаження.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_M \leq U_H$	10кВ	10кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	32,4А	630А
$I_{КЗ}^{(3)} \leq I_{СТ.Н}$	2,97кА	20кА
$i_{уд} \leq i_{СТ.ДИН}$	5,87кА	41кА
$B_K \leq I_T^2 t$	$2,97^2 \cdot 0,21 = 1,86 \text{кА}^2 \text{с}$	$20^2 \cdot 3 = 48 \text{кА}^2 \text{с}$

Умови вибору виконуються. Отже приймаємо до встановлення КВН типу КСО – 393 в РУ-10кВ цехової ТП.

5.1.2 Вибір та перевірка вимикачів навантаження

Для комутації електричного струму до приймачів, захисту силового трансформатора за довідником вибираємо вимикачі навантаження типу ВНР (QW1, QW2) і ВНРП (QW3, QW4) із запобіжниками, якими комплектуються вибрані комірки КСО – 393.

Вимикачі навантаження мають такі технічні дані:

- номінальна напруга – 10 кВ;
- номінальний струм – 630 А;
- номінальний струм відключення – 10 кА;
- струм термічної стійкості за $t = 1\text{с}$ – 5 кА;
- струм динамічної стійкості – 20 кА.

Умови вибору і перевірки вимикачів навантаження наведені у таблиці 5.3

Таблиця 5.3 – Умови вибору і перевірки комірок вимикачів навантаження.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_M \leq U_H$	10кВ	10кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	32,4А	630А
$I_{КЗ}^{(3)} \leq I_{СТ.Н}$	2,97кА	10кА
$i_{уд} \leq i_{СТ.ДИН}$	5,87кА	20кА
$B_K \leq I_T^2 t$	$2,97^2 \cdot 0,21 = 1,86 \text{кА}^2 \text{с}$	$4^2 \cdot 3 = 48 \text{кА}^2 \text{с}$

Умови вибору виконуються. Отже приймаємо вибрані вимикачі навантаження до встановлення.

5.1.3 Перевірка високовольтних запобіжників

Для захисту силових трансформаторів зі сторони ВН встановлюються запобіжники типу ПКТ-10, якими комплектуються вимикачі навантаження ВНПР-10 (QW3, QW4).

Технічні дані запобіжника:

- номінальна напруга – 10 кВ;
- номінальний струм патрона – 100 А;
- номінальний струм плавкої вставки – 40 А;
- номінальний струм відключення – 31,5 кА.

Умови вибору і перевірки високовольтних запобіжників наведені у таблиці 5.4

Таблиця 5.4 – Умови вибору і перевірки високовольтних запобіжників.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_M \leq U_H$	10кВ	10кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	32,4А	100А
$I_{розр} \leq I_{ном.ПВ}$	32,4А	40А
$I_{КЗ}^{(3)} \leq I_{СТ.Н}$	2,97кА	10кА

Умови вибору виконуються. Отже приймаємо вибрані високовольтні запобіжники до встановлення.

5.1.4 Вибір та перевірка роз'єднувачів

Для вмикання та вимикання під напругою ділянок електричного кола при відсутності навантажувального струму та забезпечення безпечного виконання робіт на знеструмленій ділянці використовуємо роз'єднувачі.

Попередньо вибираємо роз'єднувачі типу РВ(З)-10 (QS1, QS2) із такими технічними даними:

- номінальна напруга – 10 кВ;
- номінальний струм – 630 А;
- струм термічної стійкості – $t = 3$ с – 20 кА;
- струм електродинамічної стійкості – 51 кА.

Умови вибору і перевірки роз'єднувачів наведені у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Умови вибору і перевірки роз'єднувачів.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_M \leq U_H$	10кВ	10кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	32,4А	630А
$i_{уд} \leq i_{СТ.ДИН}$	5,87кА	51кА
$B_K \leq I_T^2 t$	$2,97^2 \cdot 0,21 = 1,86 \text{кА}^2 \text{с}$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{кА}^2 \text{с}$

Умови вибору виконуються. Отже, остаточно приймаємо до встановлення роз'єднувачі типу РВ(3)-10.

5.2 Вибір і перевірка електричних апаратів напругою до 1кВ

В електричній мережі до 1кВ вибір комутаційно-захисної апаратури, захистів і перерізу провідників взаємопов'язаний.

Для захисту електричних мереж напругою до 1кВ застосовують автоматичні повітряні вимикачі і плавкі запобіжники.

ПУЕ регламентує в електроустановках до 1кВ за режимом КЗ перевіряти лише розподільні щити, струмопроводи і розподільні шафи.

Струмообмежувальні запобіжники й автомати, а також автомати, у яких струм вимикання перевищує найбільше можливе значення струму КЗ, не вимагають перевірки їх стійкості до наскрізних струмів КЗ (на електродинамічну стійкість).

Умови вибору цих апаратів відповідають наведеним вище у пунктах 1) - б) умовам, а особливості вибору за пунктами 3) – 5) пояснюються нижче на основі прикладу.

Типи автоматів і запобіжників не вибирають, бо вони є елементами шаф розподільного пристрою НН ЦТП, СРШ, силових пунктів та збірок, шино проводів, тому для автоматів вибирають номінальний струм автомата та розчеплювачів, струми спрацювання розчеплювачів, а для запобіжників – номінальний струм патрона та номінальний струм плавкої вставки.

Вибір автоматів та запобіжників зумовлений місцем їх встановлення в схемі електропостачання.

Вибір НН апаратури ЦТП проводимо на основі розрахункових даних, що наведені вище у прикладі.

5.2.1 Вибір силових шаф низької напруги трансформаторної підстанції

Комплектність шаф РУ-0,4кВ трансформаторної підстанції вибираємо за даним таблиці В.1.

Ввідну і секційну шафи вибираємо за умови можливої їх роботи при перевантаженнях у аварійних режимах. Для цього визначимо максимальний розрахунковий струм на стороні НН за умови роботи трансформатора при перевантаженні ($1,4 \cdot S_{н.т}$):

$$I_{p.max} = \frac{1,4 S_{н.т}}{\sqrt{3} U_{НН}}, \quad (5.6)$$

$$I_{p.max} = I_{\phi} = \frac{1,4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 812 \text{ A},$$

та розрахунковий струм секційної шафи визначаємо за формулою:

$$I_{p.c} = \frac{0,7 S_{н.т}}{\sqrt{3} U_{НН}}, \quad (5.7)$$

$$I_{p.c} = \frac{0,7 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 406 \text{ A}$$

Розподільні (лінійні) шафи вибираємо за кількістю приєднань і розрахунковому струму згідно даних таблиці 3.1.

За таблицею В.1 вибираємо шафи РУ-0,4кВ ЦТП:

- ввідна ШНВ-1, ввідний вимикач ВА55-41;
- секційна ШНС-1, секційний вимикач ВА55-39;
- лінійна ШНЛ-1, лінійні вимикачі ВА52-35 – 2шт.

Стійкість ошиновки вибраних шаф до дії ударних струмів КЗ – 50кА.

Перевіримо вибрані шафи за напругою та стійкістю до дії ударних струмів КЗ за умов:

$$U_M \leq U_H \quad (5.8)$$

$$0,4kV = 0,4kV$$

$$i_{уд} \leq i_{ст.дин} \quad (5.9)$$

$$50 \text{ кА} > 10,7 \text{ кА},$$

де $i_{удКЗ} = 10,7 \text{ кА}$, за розрахунковими даними (п. 4.4.1).

Умови вибору виконуються.

5.2.2 Вибір та перевірка розподільних силових шаф цехової мережі

Силові шафи, що встановлюємо в цехах (дільницях) вибираємо з врахуванням умов середовища робочої зони, кількості підключених електроприймачів і розрахунковому навантаженню.

У додатку В наведена комплектність розподільних пристроїв низької напруги КТП Хмельницького заводу комплектних трансформаторних підстанцій, розподільних пунктів ПР 8501, ПР 8504 та ПР 8505.

Розподільні пункти з вимикачами на вводі слід застосовувати лише при відсутності на початку лінії живлення вимикача з захистом, наприклад, при глухій відпайці від магістрального шинопровода. В інших випадках рекомендується використовувати розподільні пункти з рубильниками на вводі.

Для цеху №1 (за відсутності достовірних даних) попередньо вибираємо силову розподільчу шафу типу ПР 8501-1153, технічні дані якої (табл. В.6):

- номінальна напруга – 380В;
- номінальний струм шафи – 630А;

- тип вимикачів на відходячих лініях ВА 51-35 (4 шт.);
- кількість відходячих ліній – 4 шт;
- стійкість ошиновки до струмів КЗ – 15кА.

Умови вибору і перевірки розподільної силової шафи цеху №1 наведені у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Умови вибору і перевірки СРШ цеху №1.

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_M \leq U_H$	400В	660В
$I_{розр} \leq I_{ном}$	427,2А	630А
$i_{уд} \leq i_{СТ.ДИН}$	$i_{удК4} = 8 \text{ кА}$	15кА
кількість приєднань	4	4

Умови вибору виконуються. Отже, остаточно приймаємо до встановлення в цеху №1 ввідну СРШ типу ПР 8501-1153 (А1, додаток К5) .

ЛІТЕРАТУРА

1. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. - Суми.: ВТД «Університетська книга», 2006. – 153с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. - Суми.: ВТД «Університетська книга», 2007. – 280с.
3. Справочник по проектированию электроснабжения /Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 1990.-576 с.
3. Указания по расчету электрических нагрузок (РТМ 36.18.32.4-92)-М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992.
4. М.Й. Бурбело “Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків”. Навчальний посібник. – 2-е вид., перероб. і доп. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 148 с.
5. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
6. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.
7. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
8. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.
9. ГОСТ 28249-89. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.

ДОДАТКИ

Додаток А

Вихідні дані

Розрахувати потужність трансформаторної підстанції підприємства, вибрати її обладнання (силові трансформатори, високовольні та низьковольні розподільні щити та інше), визначити схему живлення цехів, та перерізи живлячих ліній, та перевірити їх на стійкість до перевантажень і КЗ. Підстанція живиться від ЦРП що знаходиться на відстані 600 м від підприємства з східної сторони. Струм трифазного КЗ на шинах ЦРП 6кА. Вихідні дані по навантаженню, коефіцієнту попиту, категорії надійності, освітлювальному навантаженню цехів підприємства наведені в таблиці.

№ В.	Назва цеху	Встановлена потужність Р, кВт	$\cos \varphi$	K_n	КНЕп	$P_o, \%$
1	2	3	4	5	6	7
1	1 Виробничий цех №1	600	0,68	0,34	II	10
	2 Виробничий цех №2	450	0,75	0,22	II	9
	3 Виробничий цех №3	500	0,59	0,15	II	13
	4 Ремонтна майстерня	150	0,6	0,3	III	32
2	1 Виробничий цех №1	450	0,75	0,23	II	11
	2 Виробничий цех №2	240	0,63	0,47	III	12
	3 Виробничий цех №3	620	0,86	0,69	II	11
	4 Ремонтна майстерня	300	0,95	0,2	III	25
3	1 Виробничий цех №1	240	0,68	0,6	II	10
	2 Виробничий цех №2	340	0,69	0,45	II	10
	3 Виробничий цех №3	200	0,73	0,65	III	12
	4 Ремонтна майстерня	180	0,65	0,32	III	15
4	1 Виробничий цех №1	850	0,8	0,56	II	15
	2 Виробничий цех №2	730	0,85	0,6	II	13
	3 Виробничий цех №3	650	0,85	0,62	II	9
	4 Ремонтна майстерня	240	0,73	0,31	III	12
5	1 Виробничий цех №1	360	0,64	0,63	II	11
	2 Виробничий цех №2	220	0,76	0,46	III	10
	3 Виробничий цех №3	440	0,75	0,65	II	14
	4 Ремонтна майстерня	190	0,73	0,32	III	17
6	1 Виробничий цех №1	800	0,76	0,65	II	10
	2 Виробничий цех №2	340	0,75	0,72	II	10
	3 Виробничий цех №3	620	0,67	0,85	I	10
	4 Ремонтна майстерня	300	0,78	0,34	III	10
7	1 Виробничий цех №1	540	0,9	0,75	II	9,8
	2 Виробничий цех №2	330	0,87	0,65	III	11
	3 Виробничий цех №3	490	0,79	0,76	II	14
	4 Ремонтна майстерня	200	0,7	0,4	III	23
8	1 Виробничий цех №1	460	0,6	0,68	III	10
	2 Виробничий цех №2	430	0,71	0,7	II	11
	3 Виробничий цех №3	620	0,76	0,76	I	14
	4 Ремонтна майстерня	150	0,85	0,36	III	17

1	2	3	4	5	6	7
9	1 Виробничий цех №1	560	0,69	0,68	II	11
	2 Виробничий цех №2	530	0,73	0,66	II	12
	3 Виробничий цех №3	545	0,65	0,7	II	11
	4 Ремонтна майстерня	250	0,8	0,3	III	25
10	1 Виробничий цех №1	420	0,85	0,72	II	10
	2 Виробничий цех №2	620	0,85	0,73	II	10
	3 Виробничий цех №3	350	0,73	0,69	III	12
	4 Ремонтна майстерня	220	0,64	0,2	III	15
11	1 Виробничий цех №1	650	0,76	0,6	II	15
	2 Виробничий цех №2	840	0,75	0,45	II	13
	3 Виробничий цех №3	530	0,73	0,65	III	9
	4 Ремонтна майстерня	220	0,76	0,32	III	12
12	1 Виробничий цех №1	350	0,68	0,56	III	11
	2 Виробничий цех №2	410	0,75	0,6	II	10
	3 Виробничий цех №3	390	0,59	0,62	II	14
	4 Ремонтна майстерня	130	0,6	0,31	III	17
13	1 Виробничий цех №1	460	0,75	0,63	II	11
	2 Виробничий цех №2	450	0,63	0,46	II	10
	3 Виробничий цех №3	500	0,86	0,65	II	14
	4 Ремонтна майстерня	340	0,95	0,32	II	17
14	1 Виробничий цех №1	680	0,68	0,65	II	10
	2 Виробничий цех №2	470	0,69	0,72	II	10
	3 Виробничий цех №3	630	0,73	0,85	II	10
	4 Ремонтна майстерня	230	0,65	0,34	III	10
15	1 Виробничий цех №1	530	0,8	0,75	II	9,8
	2 Виробничий цех №2	420	0,68	0,65	II	11
	3 Виробничий цех №3	340	0,75	0,76	I	14
	4 Ремонтна майстерня	210	0,95	0,4	III	23
16	1 Виробничий цех №1	350	0,68	0,68	II	10
	2 Виробничий цех №2	365	0,69	0,7	II	11
	3 Виробничий цех №3	420	0,73	0,76	I	14
	4 Ремонтна майстерня	130	0,65	0,36	III	17
17	1 Виробничий цех №1	430	0,8	0,68	III	15
	2 Виробничий цех №2	520	0,68	0,7	III	13
	3 Виробничий цех №3	630	0,75	0,6	II	9
	4 Ремонтна майстерня	180	0,59	0,31	III	12
18	1 Виробничий цех №1	340	0,6	0,68	II	11
	2 Виробничий цех №2	620	0,75	0,66	II	10
	3 Виробничий цех №3	300	0,63	0,7	II	14
	4 Ремонтна майстерня	240	0,86	0,3	III	17
19	1 Виробничий цех №1	720	0,95	0,72	II	11
	2 Виробничий цех №2	600	0,68	0,73	II	10
	3 Виробничий цех №3	620	0,69	0,69	I	14
	4 Ремонтна майстерня	300	0,73	0,2	III	17
20	1 Виробничий цех №1	460	0,69	0,68	II	11
	2 Виробничий цех №2	390	0,73	0,66	II	10
	3 Виробничий цех №3	520	0,65	0,7	III	14
	4 Ремонтна майстерня	160	0,8	0,3	III	17

1	2	3	4	5	6	7
21	1 Виробничий цех №1	640	0,85	0,72	II	10
	2 Виробничий цех №2	400	0,85	0,73	III	10
	3 Виробничий цех №3	530	0,73	0,69	II	12
	4 Ремонтна майстерня	300	0,64	0,2	III	15
22	1 Виробничий цех №1	540	0,76	0,6	II	9,8
	2 Виробничий цех №2	610	0,75	0,45	III	11
	3 Виробничий цех №3	450	0,73	0,65	II	14
	4 Ремонтна майстерня	230	0,76	0,32	III	23
23	1 Виробничий цех №1	340	0,75	0,56	II	10
	2 Виробничий цех №2	460	0,67	0,6	II	11
	3 Виробничий цех №3	390	0,78	0,62	III	14
	4 Ремонтна майстерня	210	0,9	0,31	III	17
24	1 Виробничий цех №1	580	0,87	0,63	II	10
	2 Виробничий цех №2	720	0,79	0,46	II	10
	3 Виробничий цех №3	360	0,7	0,65	II	12
	4 Ремонтна майстерня	180	0,6	0,32	III	15
25	1 Виробничий цех №1	640	0,68	0,65	II	15
	2 Виробничий цех №2	320	0,75	0,72	II	13
	3 Виробничий цех №3	470	0,95	0,85	II	9
	4 Ремонтна майстерня	315	0,68	0,34	III	12
26	1 Виробничий цех №1	420	0,69	0,75	III	11
	2 Виробничий цех №2	340	0,73	0,65	II	10
	3 Виробничий цех №3	210	0,65	0,76	II	14
	4 Ремонтна майстерня	350	0,8	0,4	III	17
27	1 Виробничий цех №1	365	0,68	0,68	II	11
	2 Виробничий цех №2	420	0,75	0,7	II	10
	3 Виробничий цех №3	130	0,59	0,76	II	14
	4 Ремонтна майстерня	430	0,6	0,36	III	17
28	1 Виробничий цех №1	520	0,75	0,68	II	10
	2 Виробничий цех №2	630	0,63	0,7	II	10
	3 Виробничий цех №3	180	0,86	0,6	II	12
	4 Ремонтна майстерня	340	0,95	0,31	III	15
29	1 Виробничий цех №1	620	0,65	0,68	III	9,8
	2 Виробничий цех №2	300	0,7	0,66	II	11
	3 Виробничий цех №3	240	0,83	0,7	II	14
	4 Ремонтна майстерня	720	0,7	0,3	III	23
30	1 Виробничий цех №1	600	0,71	0,72	II	11
	2 Виробничий цех №2	620	0,96	0,73	II	9
	3 Виробничий цех №3	470	0,65	0,69	III	9.5
	4 Ремонтна майстерня	230	0,65	0,2	III	16
31	1 Виробничий цех №1	620	0,68	0,68	II	8
	2 Виробничий цех №2	300	0,75	0,7	II	9
	3 Виробничий цех №3	440	0,95	0,6	III	5.6
	4 Ремонтна майстерня	340	0,68	0,31	III	12
32	1 Виробничий цех №1	540	0,69	0,68	II	11
	2 Виробничий цех №2	630	0,73	0,66	II	10
	3 Виробничий цех №3	560	0,65	0,7	III	14
	4 Ремонтна майстерня	320	0,8	0,3	III	17

1	2	3	4	5	6	7
33	1 Виробничий цех №1	460	0,68	0,72	II	10
	2 Виробничий цех №2	500	0,75	0,73	II	10
	3 Виробничий цех №3	410	0,59	0,69	II	12
	4 Ремонтна майстерня	215	0,6	0,2	III	15
34	1 Виробничий цех №1	560	0,75	0,6	II	9,8
	2 Виробничий цех №2	630	0,63	0,45	III	11
	3 Виробничий цех №3	520	0,86	0,65	I	14
	4 Ремонтна майстерня	310	0,95	0,32	III	23
35	1 Виробничий цех №1	390	0,73	0,56	II	12
	2 Виробничий цех №2	500	0,64	0,6	II	17
	3 Виробничий цех №3	420	0,76	0,62	II	8
	4 Ремонтна майстерня	340	0,75	0,31	III	35
36	1 Виробничий цех №1	210	0,73	0,63	II	11
	2 Виробничий цех №2	350	0,76	0,46	II	12
	3 Виробничий цех №3	365	0,68	0,65	III	11
	4 Ремонтна майстерня	220	0,75	0,32	III	25
37	1 Виробничий цех №1	130	0,95	0,65	II	10
	2 Виробничий цех №2	430	0,68	0,72	II	10
	3 Виробничий цех №3	520	0,69	0,85	II	12
	4 Ремонтна майстерня	630	0,73	0,34	III	15
38	1 Виробничий цех №1	180	0,65	0,75	II	15
	2 Виробничий цех №2	340	0,8	0,65	II	13
	3 Виробничий цех №3	620	0,68	0,76	II	9
	4 Ремонтна майстерня	300	0,75	0,4	III	12
39	1 Виробничий цех №1	240	0,59	0,68	II	11
	2 Виробничий цех №2	720	0,6	0,7	II	10
	3 Виробничий цех №3	600	0,75	0,76	II	14
	4 Ремонтна майстерня	620	0,63	0,36	III	17
40	1 Виробничий цех №1	630	0,86	0,65	II	11
	2 Виробничий цех №2	650	0,95	0,68	II	13
	3 Виробничий цех №3	470	0,85	0,7	III	8
	4 Ремонтна майстерня	230	0,7	0,2	III	16